

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

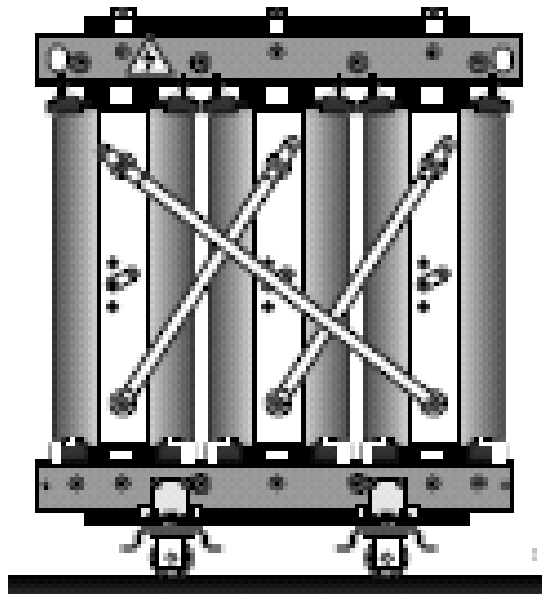
до виконання розрахунково-графічної роботи

**"ГРАФІКИ НАВАНТАЖЕНЬ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ  
ТА НАВАНТАЖУВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ТРАНСФОРМАТОРІВ"**

з курсу

**ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ  
ТА ПІДСТАНЦІЙ**

*(для студентів другої вищої освіти спеціальності  
7.05070103 – Електротехнічні системи електропостачання(за видами))*



**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2015**

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи «Графіки навантажень, температурний режим та навантажувальна здатність трансформаторів» з курсу «Електрична частина станцій і підстанцій» (для слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070103 – Електротехнічні системи електропостачання (за видами)) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: В. М. Гаряжа, Г. В. Капустін, Д. В. Рум'янцев. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 27 с.

Укладачі: В. М. Гаряжа, Г. В. Капустін, Д. В. Рум'янцев

Рецензент: доц. О. Ю. Поліщук

Рекомендовано кафедрою "Електропостачання міст",  
протокол № 2 від 08. 10 2014 р.

## ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Одним із змістових модулів при вивченні студентами навчального напрямку "Електротехніка" курсу "Електрична частина станцій та підстанцій" є виконання розрахунково-графічної роботи "Графіки навантажень, температурний режим та навантажувальна здатність трансформаторів". Ця робота дає можливість студентам оцінити вплив зміни навантаження на величину зношення силових трансформаторів, набутти вміння його розрахунку.

В роботі необхідно побудувати графіки навантаження заданих споживачів і їх сумарний графік, визначити параметри, які характеризують графіки; згідно з сумарним графіком навантаження визначити потужність необхідних силових трансформаторів, розрахувати перевищення температури масла і обмотки, а також зношення трансформатора в заданих умовах експлуатації; побудувати залежності перевищення температури масла і обмотки від навантаження, а також температури обмотки від навантаження.

Вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи вибираються відповідно до останньої цифри номера залікової книжки студента і визначаються за табл. Б1 і Б3 додатку Б. Дані таблиці Б1 множать на коригувальний коефіцієнт (табл. Б2), що визначається за передостанньою цифрою залікової книжки:

$$P_{\text{макс}} = K_p \times P'_{\text{макс}}; \cos\varphi = K_c \times \cos\varphi'$$

Оформлення роботи повинне відповідати вимогам діючих нормативних документів, зразок титульного листа наведений в додатку Б.

### 1 Теоретичні положення

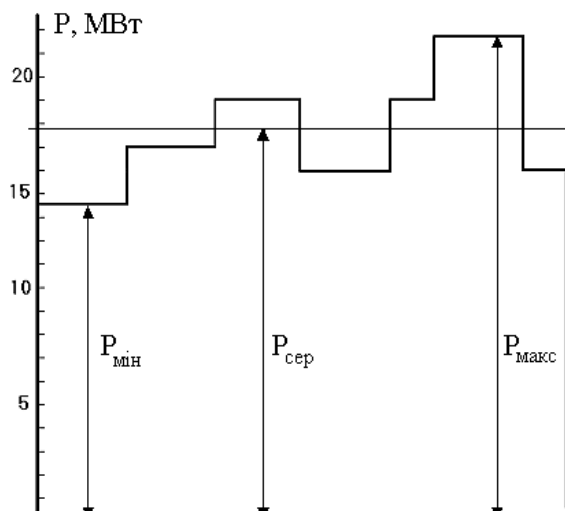
*Графік навантаження* – це крива зміни навантаження в функції часу. По осі абсцис відкладається час, по осі ординат – відповідне часові навантаження.

Для характеристики навантаження будують графіки активних навантажень ( $P$ , кВт), реактивних ( $Q$ , квар), повних ( $S$ , КВА). Вони будуються для визначеного періоду часу – добові або річні і для визначеного місця в системі: на шинах у споживача, на підстанції або на шинах станції чи системи в цілому. Річні графіки будують за характерними добовими для зимових, весняно-осінніх і літніх днів. При цьому ординати графіків розташовують вздовж осі абсцис від 0 до 8760 в порядку зменшення їх значень. Такі графіки називаються графіками за тривалістю. Площа річного графіку в визначеному масштабі відповідає річному споживанню електроенергії  $W$ , а площа добового графіка – добовому.

Для багатьох споживачів на основі досвіду експлуатації отримані *типові графіки навантаження*. Навантаження в таких графіках задається в відносних одиницях (%) від максимального навантаження. Типові графіки приводяться в довідковій літературі. В загальному випадку їх необхідно уточнювати стосовно до конкретного об'єкту.

Графіки будуються на основі розрахунків чи за показами приладів. Точки, нанесені в системі координат, з'єднуються між собою ламаними або ступінчастими лініями. Зручніше користуватися ступінчастими графіками, але при їх формуванні слід враховувати такі умови:

1. Навантаження в характерних точках (мінімум, максимум) повинні мати реальні значення;
2. Оскільки площа, обмежена графіком, пропорційна спожитій електроенергії, то і для плавного і для ступінчастого графіку, вона повинна бути однаковою;
3. Протягом ступеня навантаження вважають незмінним.



Рисунки 1 – Добовий графік навантаження

Електричне навантаження може контролюватись візуально за показниками приладів, або за записами приладів реєстрації.

Характерними величинами добового графіку (рис. 1) є *максимальне навантаження*  $P_{\text{макс}}$ ; *мінімальне*  $P_{\text{мін}}$ , а також *середньодобове* –  $P_{\text{сер}}$ . Крім того, показником є *коефіцієнт нерівномірності навантаження*

$$K_n = \frac{P_{\text{мін}}}{P_{\text{макс}}}$$

Енергія, спожита за визначений період

$$W = \sum_{i=1}^n P_i \times t_i, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість ступенів графіка;

$P_i$  – навантаження  $i$  – ого ступеня;

$t_i$  – тривалість  $i$  – ого ступеня.

Середнє навантаження за період, що розглядається

$$P_{\text{сер}} = \frac{W}{T}, \quad (2)$$

де  $T$  – тривалість періоду.

Ступінь рівномірності графіка навантаження характеризує коефіцієнт заповнення.

$$K_{\text{зап}} = \frac{P_{\text{сер}}}{P_{\text{макс}}} = \frac{W_{\text{доб}}}{24P_{\text{макс}}}. \quad (3)$$

Ефективність використання встановленої потужності характеризує коефіцієнт використання встановленої потужності

$$K_{\text{вик}} = \frac{P_{\text{сер}}}{P_{\text{вст}}} \quad (4)$$

Час використання максимуму навантаження визначається за формулою

$$T_{\text{макс}} = \frac{W}{P_{\text{макс}}} \quad (5)$$

Коефіцієнт резерву

$$K_{\text{рез}} = \frac{P_{\text{вст}}}{P_{\text{макс}}}. \quad (6)$$

Річний графік за тривалістю будують за характерними добовими графіками (частіше за двома: зимовим і літнім). Тривалість роботи за зимовим графіком приймають 183 дні, а за літнім – 182 дні. Побудова річного графіку за тривалістю показана на рисунку 2.

Час максимальних втрат  $\tau$  залежить від тривалості використання максимуму активного навантаження. Ця залежність виражається формулою:

$$\tau = 2T_{\text{макс}} - 8760 + \frac{8760 - T_{\text{макс}}}{1 + \frac{T_{\text{макс}}}{8760} - 2\frac{P_{\text{мін}}}{P_{\text{макс}}}} \left( 1 - \frac{P_{\text{мін}}}{P_{\text{макс}}} \right)^2. \quad (7)$$

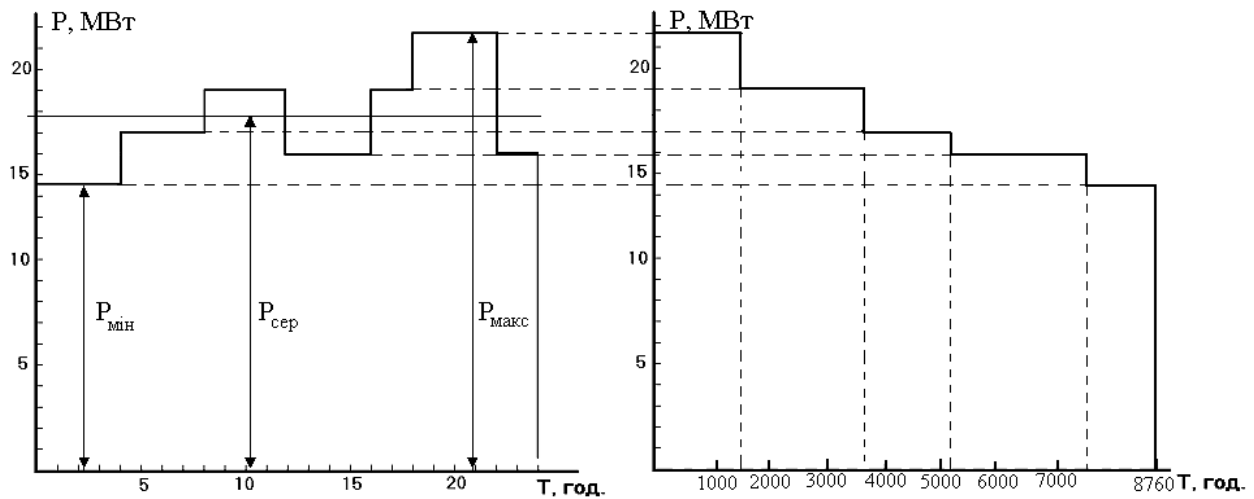


Рисунок 2 – Побудова річного графіку за тривалістю

Розрахунок часу максимальних втрат для типових графіків навантаження може виконуватися також за формулою:

$$\tau = \left( 0.124 + \frac{T_{\text{макс}}}{10000} \right)^2 \times 8760. \quad (8)$$

Більш точною є формула (7).

Оскільки від підстанції, для якої вибираються трансформатори, передбачається живлення електроприймачів усіх категорій і відсутність резервування мережею низької напруги, то обов'язковою є установка двох трансформаторів. Їх потужність вибирають так, щоб при відключенні одного на час ремонту або заміни трансформатор, що залишився в роботі, забезпечував живлення навантаження з урахуванням довгостроково припустимого перевантаження

$$S_{\text{н.т.}} \geq \frac{S_{\text{макс}}}{k_{\text{ав}}} \quad (2.2)$$

де  $S_{\text{н.т.}}$  – номінальна потужність трансформатора, МВА;

$S_{\text{макс}}$  – максимальне значення повної потужності навантаження за графіком, МВА;

$k_{\text{ав}}$  – коефіцієнт припустимого перевантаження в аварійному режимі.

При виборі потужності трансформатора не можна керуватися тільки його номінальною потужністю, тому що в реальних умовах температура навколишнього середовища, умови установки трансформатора можуть бути відмінними

від прийнятих. Навантаження трансформатора змінюється протягом доби, і якщо потужність вибрати за максимальним навантаженням, то в періоди його спаду трансформатор буде не завантажений, тобто неповністю використана його потужність. Досвід експлуатації показує, що трансформатор може працювати частину доби з перевантаженням, якщо в іншу частину доби його навантаження менше номінального. Критерієм різних режимів є зношення ізоляції трансформатора і температура найбільш нагрітої його частини і масла.

Відповідно до ГОСТ 14209 – 97 [3] трансформатори класифікуються за величиною потужності на трансформатори:

- малої потужності, (розподільні). До них відносяться трифазні трансформатори номінальною потужністю не більшою 2500 кВ А або однофазні номінальною потужністю не більше 833 кВ А класів напруги до 35 кВ включно, тобто понижувальні трансформатори з роздільними обмотками й напругою розподільної мережі, з охолодженням ON і без перемикачів відгалужень обмоток під навантаженням;

- середньої потужності, до яких відносяться трифазні трансформатори номінальною потужністю не більше 100 МВ А або однофазні номінальною потужністю не більше 33,3 МВ А з роздільними обмотками, у яких опір короткого замикання (у відсотках) внаслідок обмежень щільності потоку розсіювання не перевищує значення

$$Z_r = \left( 25 - 0,1 \times \frac{3S_r}{W} \right), \quad (9)$$

де  $W$  – кількість стрижнів у магнітопроводі трансформатора;

$S_{н.т}$  – номінальна потужність трансформатора, МВ·А;

- великої потужності, до яких відносяться трансформатори потужністю більше 100 МВ А (трифазні) або із граничним опором короткого замикання, що перевищує наведене вище значення.

Система охолодження залежить від номінальної потужності трансформатора. Класифікація систем охолодження за ГОСТ і МЕК наведена в таблиці 1.

Системи охолодження ONAN і ONAF в ГОСТ об'єднані загальним позначенням ON, OFAF і OFWF – OF, а ODAF і ODWF – OD.

Таблиця 1 – Позначення систем охолодження трансформаторів за ГОСТ і МЕК

Види системи охолодження	Позначення системи охолодження	
	По ГОСТ 11677-85	По МЕК
Природна циркуляція масла	М	ONAN
Примусова циркуляція повітря і природна циркуляція масла	Д	ONAF
Природна циркуляція повітря і примусова циркуляція масла з ненаправленим потоком масла	МЦ	OFAN
Природна циркуляція повітря і примусова циркуляція масла з направленим потоком масла	НМЦ	ODAN
Примусова циркуляція повітря і масла з ненаправленим потоком масла	ДЦ	OFAF
Примусова циркуляція повітря і масла з направленим потоком масла	НДЦ	ODAF
Примусова циркуляція води і масла з ненаправленим потоком масла	Ц	OFWF
Примусова циркуляція води і масла з направленим потоком масла	НЦ	ODWF

В умовах експлуатації робота трансформатора з тривало незмінним навантаженням малоімовірна, проте для можливості контролю режиму його роботи введено поняття *номінального режиму*, при якому навантаження трансформатора відповідає вказаним заводським даним (потужність, струм, напруга, частота, максимальна температура повітря). У цьому режимі трансформатор може працювати скільки завгодно.

Розрізняють допустимі навантаження і допустимі перевантаження трансформатора. Якщо режим роботи не прискорює старіння ізоляції і термін її служби залишається відповідним номінальному режиму, режим допускається необмежено довгим і називається *допустимим тривалим навантаженням*.

Режим, що викликає прискорений знос і скорочення терміну служби ізоляції, називається *перевантаженням*. Якщо при перевантаженні температура найбільш нагрітої точки в трансформаторі не перевищує небезпечного значення, вона вважається *допустимою*.

Режим *систематичних навантажень* – це режим, протягом частини циклу якого температура охолоджуючого середовища може бути більш високою й струм навантаження перевищує номінальний, однак з погляду термічного зношування таке навантаження еквівалентне номінальному навантаженню при номінальній температурі охолоджуючого середовища. Це досягається за рахунок зниження температури охолоджуючого середовища або струму навантаження протягом іншої частини циклу.



При плануванні навантажень цей принцип може бути розповсюджений на тривалі періоди, протягом яких цикли зі швидкістю відносного зношування ізоляції більше одиниці компенсуються циклами зі швидкістю зношування меншими одиниці.

Режим *тривалих аварійних перевантажень* – це такий режим навантаження, який виникає в результаті тривалого виходу з ладу деяких елементів мережі, які можуть бути відновлені тільки після досягнення постійного значення перевищення температури трансформатора. Це не звичайний робочий стан, і передбачається, що він буде виникати рідко, однак може тривати протягом тижнів або навіть місяців і викликати значне термічне зношування. Проте таке навантаження не повинне бути причиною аварії внаслідок термічного ушкодження або зниження електричної міцності ізоляції трансформатора.

Режим *короткочасних аварійних перевантажень* – це режим надзвичайно високого навантаження, викликаний непередбаченими впливами, які проводять до значних порушень нормальної роботи мережі, при цьому температура найбільш нагрітої точки провідників досягає небезпечних значень і в деяких випадках відбувається тимчасове зниження електричної міцності ізоляції. Однак на короткий період часу цей режим може переважати інші. Можна припускати, що навантаження такого типу будуть виникати рідко. Їх необхідно по можливості швидше знизити або на короткий час відключити трансформатор щоб уникнути його ушкодження. Припустима тривалість такого навантаження менше теплової постійної часу трансформатора й залежить від досягнутої температури до перевантаження; звичайно тривалість перевантаження становить менш півгодини.

В режимі систематичного навантаження зношення ізоляції трансформатора за період який розглядається (доба, рік) дорівнює номінальному зносу. Максимальне навантаження для розподільних трансформаторів і середньої потужності не повинне перевищувати  $1,5 S_{\text{ном.тр}}$ , температура масла в верхніх шарах не повинна перевищувати  $105^{\circ}\text{C}$ , а температура обмотки не повинна перевищувати  $140^{\circ}\text{C}$ .

В режимі тривалих аварійних перевантажень максимальне навантаження не повинне перевищувати  $1,8 S_{\text{ном.тр}}$  для розподільних трансформаторів і  $1,5 S_{\text{ном.тр}}$  для трансформаторів середньої потужності, температура масла в верхніх шарах не повинна перевищувати  $115^{\circ}\text{C}$ , температура в найбільш нагрітій точці обмотки розподільних трансформаторів не повинна перевищувати  $150^{\circ}\text{C}$ , а середньої потужності –  $140^{\circ}\text{C}$ .

В режимі короточасних аварійних перевантажень максимальне навантаження не повинне перевищувати  $2,0 S_{\text{ном.тр}}$  для розподільних трансформаторів і  $1,8 S_{\text{ном.тр}}$  для трансформаторів середньої потужності.

Для режимів короточасних аварійних перевантажень розподільних трансформаторів граничні значення температури масла у верхніх шарах і найбільш нагрітої точки не встановлені, тому що на практиці неможливо контролювати тривалість їх аварійного перевантаження. Варто мати на увазі, що при температурі найбільш нагрітої точки, що перевищує  $140-160^{\circ}\text{C}$ , можливе виділення пухирців газу, що знижують електричну міцність ізоляції трансформатора.

Для трансформаторів середньої потужності температура масла в верхніх шарах не повинна перевищувати  $115^{\circ}\text{C}$ , температура в найбільш нагрітій точці обмотки розподільних трансформаторів не повинна перевищувати  $160^{\circ}\text{C}$ . Такий режим допускається у виняткових випадках протягом обмеженого часу.

Якщо температура обмотки на будь-якому ступені досягає вказаних значень, або більша, то трансформатор в такому режимі працювати не може, необхідне його розвантаження, чи застосування трансформатора більшої потужності.

Сукупність всіх допустимих навантажень і перевантажень трансформатора визначає його *навантажувальну здатність*.

В основі розрахунку навантажувальної здатності лежить теплове зношення ізоляції трансформатора. Під впливом температури і низки інших чинників фізико-хімічні властивості твердої ізоляції з часом зазнають зміни, при цьому ізоляція стає крихкою. Хоча електрична міцність її практично не знижується, вона більше не здатна витримувати механічні навантаження від вібрацій або коротких замикань. Цей незворотний процес називається старінням. Швидкість старіння ізоляції залежить від температури, а досягнутий ступінь старіння - від температури і часу її дії.

При попередньому визначенні потужності силових трансформаторів слід прийняти  $k_{\text{ав}} = 1,4$ . Визначену таким способом потужність трансформатора необхідно округлити до стандартного значення. Після цього потужність трансформатора уточнюється з урахуванням графіка навантаження на можливість роботи при тривалих аварійних перевантаженнях.

Для визначення можливості застосування вибраного трансформатора заданий графік навантаження підстанції перетворюється в еквівалентний двоступінчастий.

Перетворення графіка виконують в такій послідовності:

- кожен ділянку графіка поділяють на ступені такої тривалості, в межах яких має місце незначна зміна навантаження. Для кожного такого ступеня вибирають середнє навантаження;
- на заданому графіку навантаження проводять горизонтальну лінію з ординатою, рівною потужності попередньо обраного трансформатора  $S_{н.т.}$ ;
- перетинанням цієї лінії з вихідним графіком виділяють ділянку перевантаження тривалістю  $h'$ ;
- визначають початкове навантаження еквівалентного графіка за формулою:

$$k_1 = \frac{1}{S_{н.т.}} \sqrt{\frac{S_1^2 \times t_1 + S_2^2 \times t_2 + \dots + S_n^2 \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (2.3)$$

де  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – потужність навантаження відповідного ступеня графіку ( $S_1, S_2, \dots, S_n \leq S_{н.т.}$ );

$t_1, t_2, \dots, t_n$  – тривалість відповідного ступеня, год.;

– визначають попереднє значення коефіцієнта перевантаження еквівалентного графіка:

$$k'_2 = \frac{1}{S_{н.т.}} \sqrt{\frac{(S'_1)^2 \times h_1 + (S'_2)^2 \times h_2 + \dots + (S'_n)^2 \times h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}}, \quad (2.4)$$

де  $S'_1, S'_2, \dots, S'_n$  – потужність навантаження відповідного ступеня графіка ( $S'_1, S'_2, \dots, S'_n > S_{н.т.}$ );

$h_1, h_2, \dots, h_n$  – тривалість відповідних ступенів перевантаження, год.

Ділянку перевантаження знаходять перетинанням лінії номінальної потужності трансформатора з вихідним графіком.

Попереднє значення коефіцієнта перевантаження  $k'_2$  слід порівняти зі значенням максимального коефіцієнта перевантаження

$$k_{\max} = \frac{S_{\max}}{S_{н.т.}}. \quad (2.5)$$

Якщо  $k_2' \geq 0,9 k_{\text{макс}}$ , то слід прийняти коефіцієнт перевантаження  $k_2 = k_2'$ ; якщо ж  $k_2' < 0,9 k_{\text{макс}}$ , то приймають  $k_2 = 0,9 k_{\text{макс}}$ , при цьому час перевантаження  $h$  коригується за формулою:

$$h = \frac{(k_2')^2 \cdot h'}{(0,9k_{\text{макс}})^2}, \quad (2.6)$$

де  $h' = h_1 + h_2 + \dots + h_n$ .

За знайденими величинами перевіряється допустимість графіка навантаження для вибраного трансформатора. В [3] наведені 24 таблиці для трансформаторів чотирьох категорій і шести значень часу перевантаження  $h$  (від 0,5 до 24 год.)

За їх допомогою можна перевірити графіки припустимих режимів навантаження при різних значеннях  $k_1$  і  $k_2$  для відомої температури охолоджувального середовища й визначити для даного випадку скорочення терміну служби (виражається в "нормальних" добах, тобто, в еквівалентній добі роботи за номінальної потужності й температурі охолоджувального середовища  $20^\circ\text{C}$ ) і температуру найбільш нагрітої точки трансформатора.

Якщо температура найбільш нагрітої точки трансформатора перевищує допустиму, то необхідно прийняти трансформатор наступної ступені потужності чи передбачити зниження навантаження.

Таблиці допустимих навантажень і відповідне добове скорочення строку служби трансформатора наведені в додатку Г [9].

*Приклад.* Визначити зношення за добу й температуру найбільш нагрітої точки трансформатора середньої потужності, що працює в таких умовах:

Система охолодження OF,  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 1,3$ ;  $h = 8$  год., температура охолоджувального середовища  $\theta_h = 30^\circ\text{C}$ .

За даними таблиці Г1 [9] прискорення відносної швидкості зношення для температури  $30^\circ\text{C}$  складає 3,2. За таблицею Г18 [9] відносна швидкість зношення  $V = 31,8$ ; припустиме перевищення температури  $\Delta\theta_h = 121^\circ\text{C}$  для температури охолоджувального середовища  $20^\circ\text{C}$ . З огляду на те, що фактична температура охолоджувального середовища дорівнює  $30^\circ\text{C}$ , знаходимо добове зношення

$$L = 31,8 \times 3,2 = 101,8 \text{ "нормальних" діб};$$

При цьому температура найбільш нагрітої точки

$$\theta_h = 121 + 30 = 151^\circ\text{C}.$$

З розрахунку видно, що температура найбільш нагрітої точки перевищує рекомендоване граничне значення  $140^{\circ}\text{C}$ . Цей режим неприпустимий, його слід уникнути одним із вищевказаних способів.

Точніше розрахувати навантажувальну здатність можливо визначивши температуру в найбільш нагрітих місцях обмотки, а також залежність швидкості старіння ізоляції від температури і температуру, при дії якої трансформатор працюватиме заданий, економічно виправданий термін з урахуванням реального графіка навантаження.

При розрахунку використовуються такі умовні позначення (згідно з прийнятими в ГОСТ)

$N$  – коефіцієнт температури найбільш нагрітої точки;

$I$  – струм навантаження, А

$K$  – коефіцієнт навантаження (відношення струму (потужності) навантаження до номінального струму (потужності));

$L$  – відносне зношування за певний період часу;

$R$  – відношення навантажувальних втрат при номінальному струмі (потужності) до втрат холостого ходу;

$S$  – номінальна потужність, МВ А;

$V$  – відносна швидкість зношування;

$g$  – різниця температур обмотки й масла,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t$  – тривалість навантаження на прямокутному графіку навантаження;

$\theta$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\tau$  – теплова постійна часу;

$\Delta$  – перевищення температури (стосовно температури охолодного середовища).

Показники ступеня

$x$  – показник ступеня сумарних втрат при розрахунку перевищення температури масла;

$y$  – показник ступеня коефіцієнта навантаження при розрахунку перевищення температури обмотки;

Індекси (загальні):

$E$  – відповідає еквівалентній температурі охолодного середовища;

$M$  – відповідає температурі охолоджувального середовища при розрахунку найбільш нагрітої точки;

$W$  – відповідає обмотці;

$a$  – відповідає охолоджуючому повітрю (температурі);

$h$  – відповідає найбільш нагрітій точці (температурі);

$m$  – відповідає коефіцієнту, який використовується при розрахунку максимальної температури найбільш нагрітої точки;

$o$  – відповідає маслу;

$r$  – позначає номінальне значення (якщо застосовується, то завжди ставиться останнім);

$t$  – відповідає температурі або перевищенню температури в момент часу  $t$ .

Теплові характеристики трансформаторів слід приймати за даними таблиці 2.

Таблиця 2 – Теплові характеристики, які використовуються при складанні таблиць навантажень

Показник	-	Трансформатори			
		розподільні	середньої й великої потужності		
		ONAN	ON	OF	OD
Показник степені масла	x	0,8	0,9	1,0	1,0
Показник степені обмотки	y	1,6	1,6	1,6	2,0
Відношення втрат	R	5	6	6	6
Коефіцієнт температури найбільш нагрітої точки	H	1,1	1,3	1,3	1,3
Теплова постійна часу масла	$\tau_o$ , годин	3,0	2,5	1,5	1,5
Температура охолоджуючого середовища	$\theta_a$ , °C	20	20	20	20
Перевищення температури найбільш нагрітої точки	$\Delta\theta_{hr}$ , °C	78	78	78	78
Перевищення середньої температури обмотки	$\Delta\theta_{wr}$ , °C	65	63	63	68
Гradient температури найбільш нагрітої точки (масло на виході з обмотки)	$H_{qr}$ , °C	23	26	22	29
Перевищення середньої температури масла	$\Delta\theta_{imr}$ , °C	44	43	46	46
Перевищення температури масла на виході з обмотки	$\Delta\theta_{ir}$ , °C	55	52	56	49
Перевищення температури масла в нижній частині обмотки	$\Delta\theta_{br}$ , °C	33	34	36	43

Температура найбільш нагрітої точки обмотки  $\theta_w$  в усталеному режимі роботи трансформатора при будь-якому навантаженні  $K$  дорівнює сумі темпе-

ратури охолодного середовища, перевищення температури масла в верхніх шарах і різниці температур найбільш нагрітої точки і масла в верхніх шарах.

Встановлено, що для трансформаторів справедливе співвідношення  $\theta_o \sim \Delta P^m$ , де  $\Delta P$  – втрати потужності в трансформаторі. Тобто номінальні втрати потужності

$$\Delta P_{\text{ном}} = \Delta P_x + \Delta P_k = \Delta P_x \left( 1 + \frac{\Delta P_k}{\Delta P_x} \right) = \Delta P_k (1 + R), \quad (9)$$

а втрати з урахуванням завантаження

$$\Delta P = \Delta P_x + \Delta P_k K_H^2 = \Delta P_x (1 + RK_H^2), \quad (10)$$

тоді усталене перевищення температури масла над температурою навколишнього середовища визначатиметься, як

$$\theta_m = \theta_{m.\text{ном.}} \left( \frac{1 + RK_H^2}{1 + R} \right)^x, \quad (9')$$

де  $\Delta P_k$  і  $\Delta P_x$  – паспортні втрати активної потужності в сталі і міді трансформатора відповідно;

$$R = \frac{\Delta P_k}{\Delta P_x}; \quad (10')$$

$\theta_{m.\text{ном.}}$  – перевищення температури масла у верхніх шарах над температурою охолоджуючого середовища;

$K_H = \frac{S}{S_{\text{ном}}}$  – відносне навантаження трансформатора.

Для перевищення температури обмотки в найбільш нагрітій точці над температурою масла  $\theta_{\text{об.}}$  справедливе співвідношення

$$\theta_{\text{об.}} = \theta_{\text{об.н.}} \left( \frac{\Delta P_{\text{обм}}}{\Delta P_k} \right)^y = \theta_{\text{об.н.}} \times K_H^y, \quad (11)$$

де  $\theta_{\text{об.н.}}$  – перевищення температури найбільш нагрітої точки масла при номінальному навантаженні.

Відповідно до ГОСТ 14209-97  $x = 0.9$ ,  $y = 1.6$ ,  $\theta_{m.\text{ном.}} = 55^\circ \text{C}$ ,  $\theta_{\text{об.н.}} = 23^\circ \text{C}$  для трансформаторів з системами охолодження М і Д і  $x = 1.0$ ,  $y = 1.8$ ,  $\theta_{m.\text{ном.}} = 40^\circ \text{C}$ ,  $\theta_{\text{об.н.}} = 38^\circ \text{C}$  – для трансформаторів з системами охолодження Ц і ДЦ.

При нерівномірному графіку навантаження трансформатора його тепловий режим безперервно змінюється, причому закони зміни температури масла і температури обмотки відрізняються один від одного.

Розглянемо багатоступінчастий графік навантаження трансформатора. Для перевищень температури масла у верхніх шарах можна записати (індекси  $M$  опущені)

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \theta_0 + (\theta_{1y} - \theta_0)(1 - e^{\Delta t_1 \tau}) \\ \theta_2 &= \theta_1 + (\theta_{2y} - \theta_1)(1 - e^{\Delta t_2 / \tau}) \\ &\vdots \\ \theta_n &= \theta_{n-1} + (\theta_{ny} - \theta_{n-1})(1 - e^{\Delta t_n / \tau}),\end{aligned}\tag{12}$$

де  $\theta_{1y}, \theta_{2y}, \dots, \theta_{ny}$  – сталі перевищення температури масла у верхніх шарах, відповідно при навантаженнях  $K_1, K_2, \dots, K_{ny}$ ;

$\tau$  - постійна часу нагріву трансформатора.

Розв'язання системи рівнянь (12) дозволяє знайти початкове перевищення температури масла  $\theta_0$  і перевищення температури масла  $\theta_x$  в кінці будь-якого ступеня  $n$ .

Постійна часу нагріву обмоток значно менша постійної часу нагріву трансформатора і складає декілька хвилин. Тому можна вважати, що при ступінчастій зміні навантаження температура обмотки в найбільш нагрітій точці у момент зміни навантаження міняється стрибком від одного сталого значення до іншого, а далі змінюється відповідно до зміни температури масла.

На основі результатів розрахунку температури обмотки прийнято визначати відносне зношення ізоляції трансформатора. Відповідно до [5] прийнято, що при підвищенні температури ізоляції на  $6^{\circ}\text{C}$  термін служби її або зношення зменшується удвічі в порівнянні з нормальним добовим зношенням при температурі найбільш нагрітої точки обмотки, рівній  $98^{\circ}\text{C}$ . При цьому використовують розрахункові формули

$$F_{*i} = 2^{\frac{v_{06.i}-98}{6}} \quad (13)$$

$$F_{\partial\partial\partial} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \times t_i}{24}, \quad (14)$$

де  $v_{обм}$  – температура ізоляції обмотки в найбільш нагрітій точці,  
 $v_{обм} = \theta_m + \theta_{об.} + T_{ox.}$  ;



$F_{*i}$  і  $F_{*доб.}$  – відповідно, відносне зношення ізоляції на даному ступені графіка навантаження і в цілому за добу (діб);  
 $T_{ох.}$  – еквівалентна температура охолоджуючого середовища,  $^{\circ}\text{C}$ .

## 2 Приклад виконання розрахунково-графічної роботи

Вихідні дані: Навантаження першого споживача – 1000 кВт,  $\cos \varphi = 0.98$ ;

Навантаження другого споживача – 1000 кВт,  $\cos \varphi = 0.98$ ;

Графіки навантаження наведені на рис. 4 (графіки 1 і 2).

Еквівалентна зимова температура навколишнього середовища – мінус  $6^{\circ}\text{C}$ .

### 2.1 Побудова сумарного графіка і визначення параметрів графіків

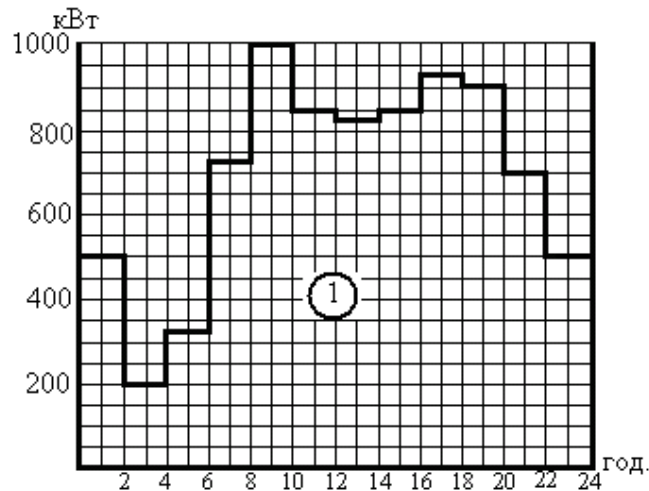


Рисунок 4 – Графік навантаження першого споживача

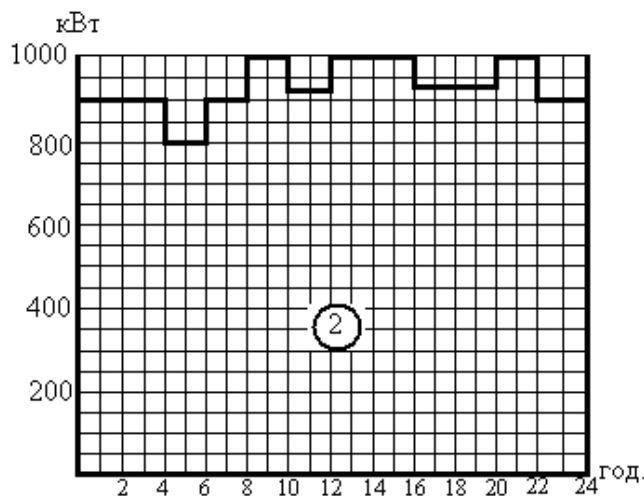


Рисунок 5 – Графік навантаження другого споживача

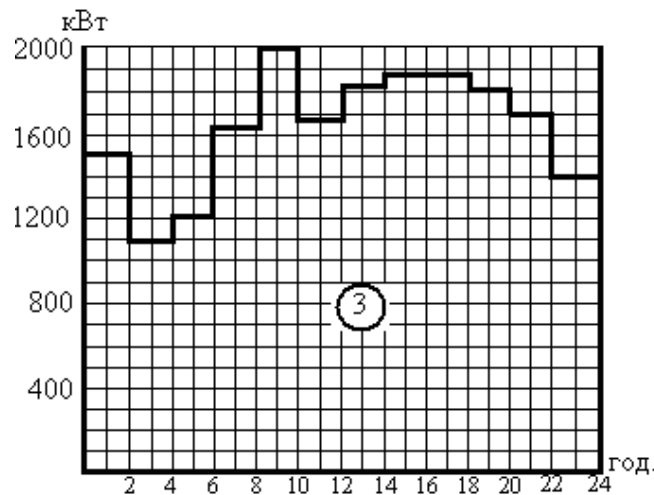


Рисунок 6 – Сумарний графік навантаження двох споживачів

Спільний графік навантаження будується додаванням ординат двох графіків, виражених в іменованих одиницях (графік 3).

Для першого споживача:  $P_{\text{макс}} = 1000$  кВт,  $P_{\text{мін}} = 200$  кВт, коефіцієнт нерівномір-

ності навантаження  $K_n = \frac{P_{\text{мін}}}{P_{\text{макс}}} = \frac{200}{1000} = 0,2$ ; електроенергія, спожита за добу

$$W = \sum_{i=1}^n P_i \times t_i = 500 \times 2 + 200 \times 2 + 325 \times 2 + 725 \times 2 + 1000 \times 2 + 850 \times 2 + 825 \times 2 + 850 \times 2 +$$

$+ 925 \times 2 + 900 \times 2 + 700 \times 2 + 500 \times 2 = 16\,600$  кВт×год. Середнє навантаження за добу складає

$$P_{\text{сер}} = \frac{W}{T} = \frac{16600}{24} = 691,7 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт заповнення графіка

$$K_{\text{зап}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{макс}}} = \frac{W_{\text{сут}}}{24 P_{\text{макс}}} = \frac{691,7}{1000} = \frac{16600}{24 \times 1000} = 0,69.$$

Час використання максимуму навантаження за добу

$$T_{\text{макс}}^{\text{доб}} = \frac{W}{P_{\text{макс}}} = \frac{16600}{1000} = 16,6 \text{ год.}$$

Річний час використання максимуму навантаження  $T_{\text{макс}} = 16,6 \times 365 = 6059$  год.

Для другого споживача: (Розрахунки виконуються аналогічно).

$$P_{\text{макс}} = 1000 \text{ кВт}, P_{\text{мін}} = 800 \text{ кВт}, K_n = 0,8, W = 22350 \text{ кВт} \times \text{год.},$$

$$P_{\text{сер}} = 931,25 \text{ кВт}, K_{\text{зап}} = 0,93, T_{\text{макс}}^{\text{доб}} = 22,35 \text{ год.}, T_{\text{макс}} = 8158 \text{ год.}$$

Для підстанції в цілому:  $P_{\text{макс}} = 2000 \text{ кВт}$ ,  $P_{\text{мін}} = 950 \text{ кВт}$ ,  $K_{\text{н}} = 0.475$ ,

$W = 38950 \text{ кВт} \times \text{год}$ ,  $P_{\text{сер}} = 1623 \text{ кВт}$ ,  $K_{\text{зап}} = 0.81$ ,  $T_{\text{макс}}^{\text{доб}} = 19.48 \text{ год.}$ ,  $T_{\text{макс}} = 7110 \text{ год.}$

Для сумарного графіка

$$\tau = 2 \times 7110 - 8760 + \frac{8760 - 7110}{1 + \frac{7110}{8760} - 2 \times \frac{950}{2000}} \left( 1 - \frac{950}{2000} \right)^2 = 5988 \text{ год.}$$

## 2.2 Розрахунок температурного режиму та зносу трансформаторів

Згідно з сумарним графіком навантаження (Графік 3, Рис. 5) максимальна величина навантаження підстанції складає 2000 кВт (2.0 МВА). Коефіцієнт потужності навантаження дорівнює 0.98.

Максимальна повна потужність навантаження

$$S_{\text{макс}} = \frac{P_{\text{макс}}}{\cos \varphi}$$

$$S_{\text{макс}} = \frac{2.0}{0.98} = 2.04 \text{ МВА}$$

Потужність силових трансформаторів попередньо визначається за формулою (15):

$$S_{\text{ном.тр.}} = \frac{2.04}{1.4} = 1.43 \text{ МВА}$$

Приймаємо номінальну потужність трансформатора  $S_{\text{т.ном.}} = 1.6 \text{ МВА}$ . Тип трансформатора ТМН 1600/35, для цього трансформатора  $\Delta P_{\text{к}} = 26 \text{ кВт}$ ,  $\Delta P_{\text{х}} = 5.1 \text{ кВт}$ ,  $\tau = 3 \text{ год.}$ ,  $\theta_{\text{м.ном.}} = 55^{\circ} \text{ C}$ ,  $x = 0.9$ ,  $y = 1.8$ .

Визначаємо відносне навантаження кожного ступеня. Для першого ступеня  $K_1 = \frac{S_1}{S_{\text{ном.тр.}}} = \frac{1.50}{1.6} = 0.94$ . Аналогічно визначаємо  $K_i$  для всіх ступенів, ре-

зультати зводимо в таблицю 1. За точку відліку взято 0 годин (можна приймати будь-який час).

Задаємось початковим значенням перевищення температури масла над навколишнім середовищем  $\theta_0$  за умови, що трансформатор працює за циклічним графіком, наприклад, приймаємо  $\theta_0 = 58^{\circ} \text{ C}$ . Номінальне перевищення температури масла для системи охолодження М по ГОСТ 14209-97  $\theta_{\text{м.ном.}} = 55^{\circ} \text{ C}$ .

Перевищення температури масла на першому ступені при сталому навантаженні  $K$  знаходимо за формулою (1). Згідно з параметрами трансформатора

$$d = \frac{\Delta P_{\kappa}}{\Delta P_x} = \frac{26}{5.1} = 5.1, \text{ тоді } \theta_m = \theta_{m.ном.} \left( \frac{1 + dK^2_n}{1 + d} \right)^x = 55 \left( \frac{1 + 5.1 \times 0.96^2}{1 + 5.1} \right)^{0.9} = 51.48^\circ \text{C},$$

а кінцеве значення перевищення температури на першому ступеню –  $\theta_{1\kappa} = \theta_{n-1} + (\theta_{ny} - \theta_{n-1})(1 - e^{\Delta t_n / \tau}) = 58 + (51.48 - 58)(1 - e^{-2/3}) = 54.83^\circ \text{C}.$

Аналогічно, на другому ступеню

$$\theta_m = 55 \left( \frac{1 + 5.1 \times 0.70^2}{1 + 5.1} \right)^{0.9} = 34.24^\circ \text{C}; \theta_{2\kappa} = 54.83 + (34.24 - 54.83)(1 - e^{-2/3}) = 44.81^\circ \text{C}.$$

Перевищення температури обмотки над температурою масла на ступені 1

$$\theta_{об.1} = \theta_{об.н.} \times K^y = 40 \times 0.96^{1.8} = 36.93^\circ \text{C}$$

Перевищення температури обмотки над температурою масла на ступені 2

$$\theta_{об.2} = 40 \times 0.71^{1.8} = 21.83^\circ \text{C}$$

Температура обмотки в найбільш нагрітій точці для першого ступеня, при температурі навколишнього середовища мінус  $6^\circ \text{C}$

$$\vartheta_{об.н.н.т.} = \vartheta_{охол} + \theta_m + \theta_{об.н.н.т.} = -6 + 54.83 + 36.93 = 85.76^\circ \text{C}$$

Розрахунки для всіх ступенів аналогічні, результати зведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Розрахунок перевищень температури масла і обмотки, а також температури обмотки

Ступінь	Тривалість ступеня	Відносне навантаження ступеня	Перевищення температури масла на ступені в усталеному стані, $^\circ \text{C}$	Перевищення температури масла в кінці ступеню, $^\circ \text{C}$	Перевищення температури обмотки на ступені, $^\circ \text{C}$	Температура найбільш нагрітої точки обмотки, $^\circ \text{C}$	Середня температура обмотки на ступеню
1	2	0,96	51,48	54,83	36,93	85,76	85,88
2	2	0,71	34,24	44,81	21,83	60,64	73,20
3	2	0,78	38,36	41,67	25,46	61,13	60,89
4	2	1,05	59,42	50,31	43,84	88,15	74,64
5	2	1,30	82,97	66,20	64,23	124,44	106,30
6	2	1,14	67,40	66,79	50,77	111,55	118,0
7	2	1,19	71,59	69,12	54,40	117,52	114,54
8	4	1,22	75,29	72,12	57,59	123,72	120,62
9	2	1,17	70,38	71,28	53,35	118,62	121,17
10	2	1,10	63,92	67,69	47,74	109,44	114,03
11	2	0,91	47,98	58,10	33,89	85,99	97,72

З розрахунків видно, що початкове значення вихідне перевищення температури масла на початку розрахунку і на ступені 11 співпадають, тому повторно проводити розрахунок не потрібно. Якщо ці величини розходяться більше ніж на 10-15%, то необхідно задатися новим значенням початкового перевищення температури і повторити розрахунок.

Проміжні значення перевищення температури для будь-якого моменту часу можна визначаються за виразом:

$$\theta_t = \theta_0 + (\theta_y - \theta_0)(1 - e^{-t/\tau}) \quad (19)$$

За результатами розрахунків будемо графік перевищень температури масла, обмотки і температури найбільш нагрітої точки обмотки для всіх ступенів (рис. 6).

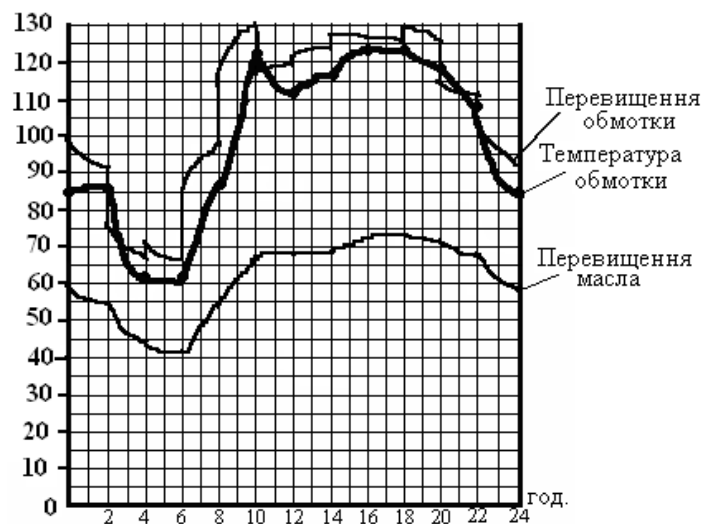


Рисунок 6 – Перевищення температури масла і обмотки, температура обмотки

### 2.3 Розрахунок добового зношення трансформатора

Зношення трансформатора розраховується тільки для тих ступенів на яких середня температура обмотки перевищує  $98^{\circ}\text{C}$ . На ступенях де температура менша, зношення дорівнює 0.

Розглянемо 5-й ступінь. Для визначення зношення трансформатора на ньому знаходимо середню температуру обмотки протягом цього ступеня

$$\vartheta_{\text{обм.сер.}} = \vartheta_{\text{обм.поч.}} + \vartheta_{\text{обм.кін.}} = \frac{88.15 + 124.44}{2} = 106.30^{\circ}\text{C}$$

Відносне зношення трансформатора на першому ступені

$$F_{*i} = 2^{\frac{U_{об.і}-98}{6}} = 2^{\frac{106.3-98}{6}} = 3.48$$

Абсолютне зношення трансформатора протягом п'ятого ступеню, який триває 2 год. становить

$$F = 2 \times 3.48 = 6.96 \text{ год.}$$

Добове зношення трансформатора в годинах протягом доби визначається за формулою

$$F = \sum_{*i} F \times t \text{ год.}$$

Значення відносних та абсолютних зношень на всіх ступенях зведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок зносу трансформатора

Ступінь	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Середня температура	85.88	73.20	60.89	74.64	106.30	118.0	114.54	120.62	121.17	114.03	97.72
Тривалість ступеня, год.	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2	2
Відносне зношення	—	—	—	—	3.48	10.08	6.77	13.64	12.13	6.36	—
$F_{доб.} = \sum_{i=1}^n F_i \times t_i$ , год.	—	—	—	—	6.96	20.16	13.54	54.56	24.26	12.72	—

Сумарне добове зношення ізоляції трансформатора при роботі за вказаним графіком складає 132.1 години, або як за 5.50 "нормальних" діб.

Для вибору трансформатора згідно з ГОСТ 14209-97 реальний графік навантаження перетворюємо в еквівалентний двоступінчатий. Для цього на заданому графіку проводимо горизонтальна лінія з ординатою, яка дорівнює  $S_{н.т.}$ , тобто лінію номінального навантаження.

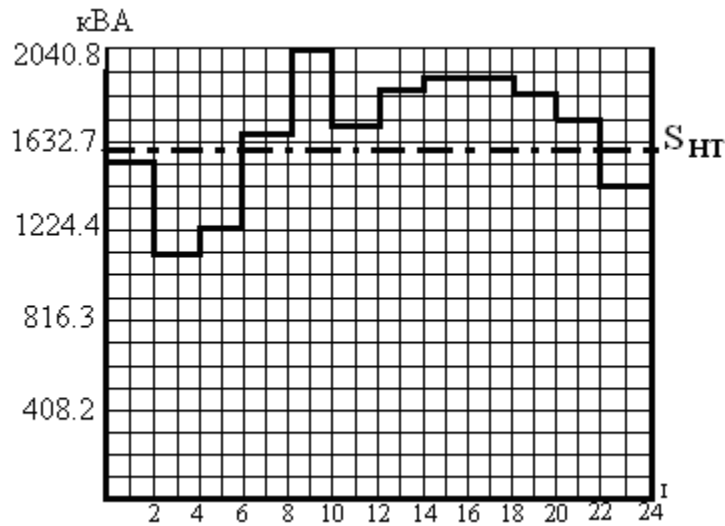


Рисунок 3 – Графік навантаження підстанції

Пересіканням цієї лінії з графіком утворюється дві ділянки – де  $S_i \leq S_{т ном}$  і де  $S_i > S_{т ном}$ .

Коефіцієнт початкового навантаження еквівалентного графіка визначається за виразом (16):

$$K_1 = \frac{1}{S_{Тном}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m S_i^2 \times \Delta t_i}{\sum_{i=1}^m \Delta t_i}} = \frac{1}{1.6} \times \sqrt{\frac{1.53^2 \times 2 + 1.12^2 \times 2 + 1.22^2 \times 2 + 1.43^2 \times 2}{2 + 2 + 2 + 2}} = 0.834$$

Попереднє значення коефіцієнта  $K_2$  визначається за виразом (17):

$$K_2' = \frac{1}{S_{Тном}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i^2 \times \Delta h_i}{\sum_{i=1}^n \Delta h_i}} = \frac{1}{1.6} \times \sqrt{\frac{1.68^2 \times 2 + 2.04^2 \times 2 + 1.71^2 \times 2 + 1.89^2 \times 2 + 1.91^2 \times 4 + 1.84^2 \times 2 + 1.73^2 \times 2}{2 + 2 + 2 + 2 + 4 + 2 + 2}} = 1.15$$

Значення  $K_2'$  порівнюється із значенням  $0.9 K_{\max} = 0.9 \times S_{\max} / S_{т ном} = 0.9 \times 2040.8 / 1600 = 1.15$  вихідного графіка.

В даному випадку  $K_2' = 0.9 K_{\max} = 1.15$  тому приймаємо  $K_2 = 1.15$

Зношення ізоляції  $F_{*i}$  визначається за таблицями П4.15-П4.31 [1], в яких наведені значення відносного зношення ізоляції при температурі навколишнього середовища  $+20^{\circ}\text{C}$ . Визначена за таблицями П4.19-П4.31 величина зношення множиться на коефіцієнт  $f$  (табл. П4.15 [1]), що коректує відносне зношення виткової ізоляції трансформаторів при аварійних перевантаженнях згідно з температурою навколишнього середовища.

**Додаток А**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова

Кафедра "Електропостачання міст"

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**до розрахунково - графічної роботи на тему**

«Графіки навантажень, температурний режим та навантажувальна здатність  
трансформаторів»

Керівник \_\_\_\_\_(Воропай В. Г.)

Виконав студент 4 групи 4 курсу \_\_\_\_\_(Коваль В. В.)

Харків – 2015



## Додаток Б

### Вихідні дані

Таблиця Б1 – Вихідні дані

Варіант	Активне навантаження споживачів, $P_{\text{макс}}$ , МВт		Коефіцієнт потужності навантаження	Номер графіків навантаження	Літнє навантаження, % від зимового	Еквівалентна температура навколишнього середовища $\Theta_z/\Theta_d$ C°
	1-й	2-й				
1	17	14	0.88	I, II	80	-3/17
2	11	25	0.87	I, III	70	-4/18
3	32	9,0	0.89	I, IV	60	-5/17
4	15	13	0.92	II, III	90	-5/20
5	34	11	0.85	II, IV	50	-2/22
6	12	17	0.86	III, IV	65	-3/18
7	16	21	0.87	I, II	70	-4/21
8	25	18	0.88	I, III	80	-5/20
9	10	12	0.93	I, IV	85	-3/22
0	30	20	0.85	II, III	70	-3/18

Таблиця Б2 – Коригувальні коефіцієнти до вихідних даних

Передостання цифра номера залікової книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Коефіцієнт коригування активного навантаження, $k_p$	1.1	1.4	1.2	1.05	0.8	1.3	0.9	1.8	1.5	1.0
Те ж коефіцієнта потужності, $k_k$	1.0	1.05	0.95	1.0	1.0	1.05	0.99	0.98	1	0.96

Таблиця Б3 – Дані графіків навантаження

Години	Навантаження, % від максимального				Години	Навантаження, % від максимального			
	I	II	III	IV		I	II	III	IV
1	40	68	50	60	13	70	80	80	80
2	38	70	20	60	14	65	85	85	100
3	33	75	20	60	15	60	85	85	100
4	33	80	35	80	16	60	90	92	90
5	33	90	100	80	17	60	96	92	90
6	35	100	100	90	18	100	100	90	90
7	50	100	75	90	19	100	100	92	90
8	60	95	75	100	20	100	100	70	100
9	70	95	92	100	21	85	85	70	100
10	70	70	90	80	22	85	80	50	80
11	62	70	80	80	23	80	75	50	80
12	68	50	80	80	24	80	70	50	80

## ЛІТЕРАТУРА

1. Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов / А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшков и др.; Под ред. А. А. Васильева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990;
2. Правила устройства электроустановок /Минэнерго СССР.– 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. ГОСТ 14209-97. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – Введ. с 01.07.97 – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 30 с.
4. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 448 с.
7. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2004. 656 с.
8. Проектирование электрической части станций и подстанций: Уч. пособие для вузов/ Ю. Б. Гук , В. В. Кантан, С. С. Петрова – Л.: Энергоатомиздат, 1985.
9. Методичні вказівки до виконання курсового проекту “Понижувальна підстанція 35/110 кВ” з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій (для студентів 3, 4 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології” зі спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання”) Укл. В.Г. Воропай, В.М. Гаряжа, Є.Д. Дьяков, В.В. Скопенко. – Харків: ХНУМГ, 2013 – 113 с.

*Навчальне видання*

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання розрахунково-графічної роботи  
**"ГРАФІКИ НАВАНТАЖЕНЬ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ  
ТА НАВАНТАЖУВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ТРАНСФОРМАТОРІВ"**

з курсу

**ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ  
ТА ПІДСТАНЦІЙ**

(для студентів другої вищої освіти спеціальності  
7.05070103 – Електротехнічні системи електропостачання(за видами))

Укладачі: **ГАРЯЖА** Василь Миколайович  
**КАПУСТІН** Геннадій Валентинович  
**РУМ'ЯНЦЕВ** Дмитро Валерійович

Відповідальний за випуск доц. *Є. Д. Дьяков*

Редактор *З. І. Зайцева*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2014, поз. 187М

---

Підп. до друку 22.12.2014  
Друк на ризографі  
Тираж 50 пр.

Формат 60 x 84/16  
Ум. друк. арк. 1,6  
Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.